

# BACCALAUREAT TECHNOLOGIQUE

S e s s i o n 2 0 0 7

## PHYSIQUE APPLIQUÉE

Série : Sciences et Technologies industrielles

Spécialité : Génie Électrotechnique

Durée de l'épreuve : 4 heures

coefficient : 7

L'emploi de toutes les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique est autorisé à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (circulaire n°99-186 du 16-11-1999).

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

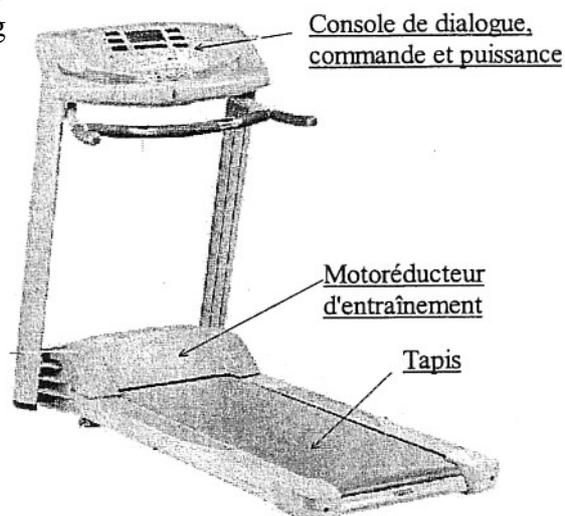
Le sujet comporte 9 pages numérotées de 1/9 à 9/9 dont les documents réponses page 8/9 et page 9/9 sont à rendre avec la copie.

Les parties A, B, C et D sont indépendantes.

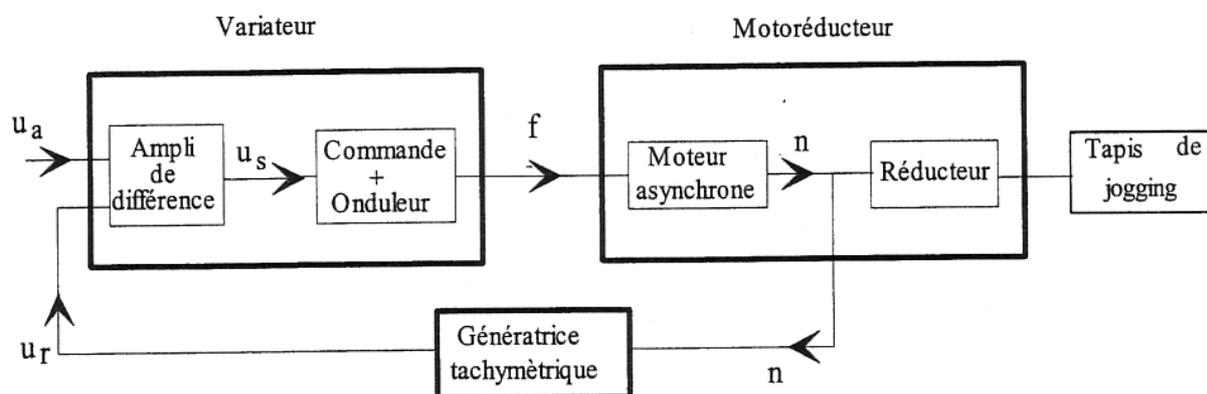
<p>Il est rappelé aux candidats que la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des raisonnements, entreront pour une part importante dans l'appréciation des copies.</p>
---

## ETUDE D'UN TAPIS DE JOGGING

On se propose d'étudier certains éléments entrant dans la constitution d'un tapis de jogging motorisé.



Le schéma de principe simplifié est donné ci dessous :



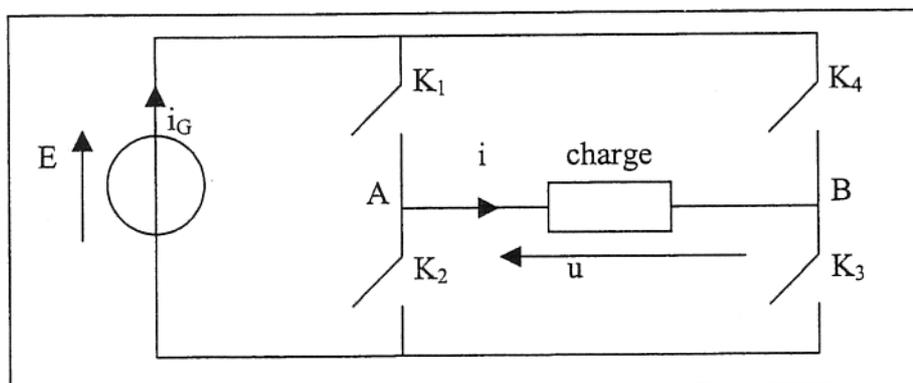
Le tapis de jogging est entraîné par un motoréducteur dont la vitesse est régulée.

### Partie A : Etude de l'onduleur

L'onduleur alimentant le moteur délivre un système de tensions triphasées.

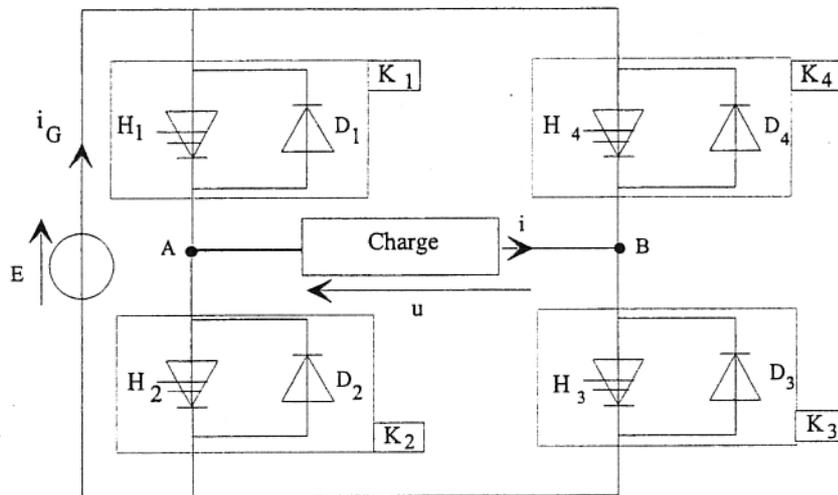
Pour étudier la conversion réalisée par l'onduleur, on se place dans le cas d'un onduleur monophasé dont le schéma de principe est le suivant :

Les interrupteurs électroniques  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  et  $K_4$  sont commandés périodiquement.



**Aucune connaissance spécifique à l'onduleur à quatre interrupteurs n'est nécessaire pour traiter cette partie.**

Chaque interrupteur électronique K est composé d'un interrupteur commandé H et d'une diode D en antiparallèle afin de permettre la conduction dans les deux sens.



Les interrupteurs commandés et les diodes sont considérés parfaits. L'onduleur est alimenté par une source de tension continue E.

1. Quel composant électronique peut-on utiliser comme interrupteur commandé H ?

2. On utilise la commande suivante

Sur l'intervalle  $[0; T/2]$ ,  $K_1$  et  $K_3$  sont fermés,  $K_2$  et  $K_4$  ouverts.

Sur l'intervalle  $[T/2; T]$ ,  $K_2$  et  $K_4$  sont fermés,  $K_1$  et  $K_3$  ouverts.

La tension  $u$  aux bornes de la charge et l'intensité  $i$  du courant qui la traverse sont représentées sur le document réponse 1 page 8/9.

2.1. Quelle est la valeur moyenne  $U_{\text{moy}}$  de la tension  $u$  aux bornes de la charge et quelle est la conversion réalisée par l'onduleur ?

2.2. La charge impose un courant sinusoïdal d'intensité  $i$  de valeur maximale  $I_{\text{max}} = 6 \text{ A}$ .

2.2.1. Calculer la valeur efficace  $I$  du courant.

2.2.2. Préciser les caractéristiques d'un ampèremètre permettant de mesurer cette valeur.

2.3. Fonctionnement de l'onduleur lorsque les interrupteurs  $K_1$  et  $K_3$  sont fermés (intervalle d'étude  $[0; T/2]$ ).

2.3.1. Donner une relation liant  $u$  à  $E$ .

2.3.2. Le courant traversant la charge n'a pas toujours le même sens lorsque  $K_1$  et  $K_3$  sont fermés. En s'appuyant sur le document réponse 1 page 8/9, préciser les intervalles de temps durant lesquels le courant dans la charge va de  $B \rightarrow A$ , de  $A \rightarrow B$ ; en déduire, pour chacune des situations, les éléments passants (diode ou interrupteur commandé).

2.4. Compléter le document réponse 1 page 8/9, en précisant les éléments conducteurs (diode ou interrupteur commandé) pour chaque intervalle et sur une période de fonctionnement.

3. Etude de l'intensité  $i_G$  du courant fourni par la source de tension continue.

3.1. Sur l'intervalle  $[0 ; T/2]$ , quelle est la relation entre  $i_G$  et  $i$  ?

3.2. Sur l'intervalle  $[T/2 ; T]$ , quelle est la relation entre  $i_G$  et  $i$  ?

3.3. Tracer  $i_G(t)$  sur le document réponse 1 page 8/9.

4. Il est possible de commander les interrupteurs différemment.

4.1. La fermeture simultanée des interrupteurs  $K_1$  et  $K_2$  (ou  $K_3$  et  $K_4$ ) est interdite. Pourquoi ?

4.2. La fermeture simultanée des interrupteurs  $K_1$  et  $K_4$  (ou  $K_2$  et  $K_3$ ) est possible. Pourquoi ?

### **Partie B : Etude du moteur asynchrone**

Le moteur asynchrone est soumis à des tests correspondant à son fonctionnement nominal. Il est alimenté par une source de tensions triphasées sinusoïdales 230 V/400 V - 50 Hz.

1. Les enroulements du stator sont couplés en étoile. Quelle est la valeur efficace de la tension nominale aux bornes d'un enroulement ?

2. L'intensité efficace nominale du courant en ligne est de 4 A. Quelle est l'intensité efficace nominale du courant qui traverse un enroulement ? Justifier (en vous aidant d'un schéma par exemple).

3. La valeur des pertes collectives est de 180 W.

3.1. Qu'appelle-t-on pertes collectives ?

3.2. Quel type d'essai a permis de réaliser cette mesure ?

4. Lors d'un essai au point nominal de fonctionnement (à  $U = 400$  V,  $f = 50$  Hz), on a relevé la fréquence de rotation du rotor  $n = 960$  tr.min<sup>-1</sup> et le facteur de puissance du moteur  $\cos \varphi = 0,8$ .

Les pertes collectives sont supposées constantes et égales à 180 W (les pertes magnétiques dans le rotor sont négligeables).

A partir de cet essai, déterminer

4.1. la fréquence de synchronisme  $n_s$  et le nombre  $p$  de paires de pôles ;

4.2. le glissement  $g$  ;

4.3. la puissance  $P_a$  absorbée par le moteur ;

- 4.4. les pertes  $P_{js}$  par effet Joule au stator sachant que la résistance d'un enroulement est de  $1 \Omega$  ;
- 4.5. les pertes mécaniques  $p_m$  sachant qu'elles sont égales aux pertes magnétiques  $p_{fer}$  au stator ;
- 4.6. la puissance  $P_{tr}$  transmise au rotor ;
- 4.7. les pertes  $P_{jr}$  par effet Joule au rotor ;
- 4.8. la puissance utile  $P_u$  ;
- 4.9. le rendement  $\eta$  ;
- 4.10. le moment  $T_u$  du couple utile.

### Partie C : Réglage de la vitesse du moteur asynchrone

Le moteur asynchrone comporte 6 pôles. Il est alimenté par un onduleur triphasé et fonctionne à  $U/f$  constant.

On admettra, dans ces conditions, que le moment du couple utile fourni par le moteur peut se mettre sous la forme :  $T_u = k (n_s - n)$  où  $k$  est une constante,  $n$  et  $n_s$  étant exprimées en  $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$ .

1. On donne sur le document réponse 2 page 9/9 la caractéristique  $T_u(n)$  pour  $f = f_0 = 50 \text{ Hz}$  et  $U = U_0 = 400 \text{ V}$ . Calculer la valeur de  $k$  en précisant son unité.

2. Pour un utilisateur donné, **le moment  $T_r$  du couple résistant imposé au moteur est constant** et égal à  $19 \text{ N} \cdot \text{m}$ .

2.1. Tracer la caractéristique  $T_r(n)$  sur le document réponse 2 page 9/9.

2.2. Quelle relation existe-t-il entre  $T_r$  et  $T_u$  lorsque le moteur fonctionne en régime permanent ?

2.3. La charge imposant au moteur un moment de couple résistant constant, montrer que  $(n_s - n)$  reste constant quand  $n_s$  et  $n$  varient. Vérifier que la différence  $(n_s - n)$  est égale à  $40 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$ .

2.4. Evolution du point de fonctionnement.

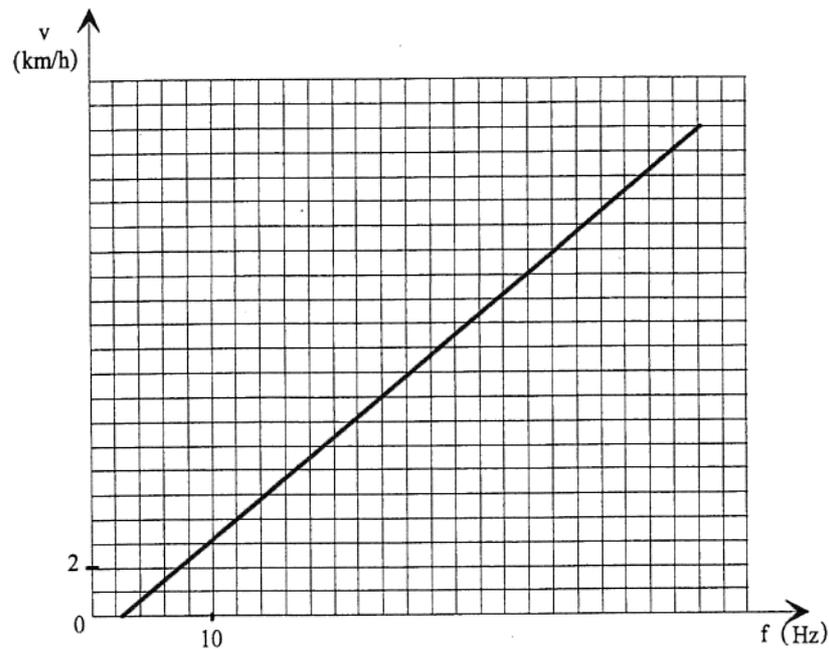
2.4.1. Calculer  $n_{s1}$  pour une fréquence de rotation du rotor  $n_1 = 580 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$ .

2.4.2. En déduire la fréquence  $f_1$  et la tension  $U_1$  délivrées par l'onduleur.

2.4.3. Tracer la caractéristique utile  $T_{u1}(n)$  correspondant à ce point de fonctionnement sur le document réponse 2 page 9/9. Comparer son allure à celle de  $T_u(n)$  à  $50 \text{ Hz}$ .

2.5. Tracer la caractéristique utile  $T_{u2}(n)$  pour une fréquence de l'onduleur  $f_2 = 20 \text{ Hz}$ . En déduire la fréquence de rotation  $n_2$  du moteur.

3. L'évolution de la vitesse  $v$  du tapis en fonction de la fréquence  $f$  fournie par l'onduleur est donnée sur le document ci-après :



3.1. Observer l'allure de la courbe précédente : la vitesse est-elle proportionnelle à la fréquence ? Justifier. Déterminer la fréquence minimale de démarrage, dite fréquence de décollage.

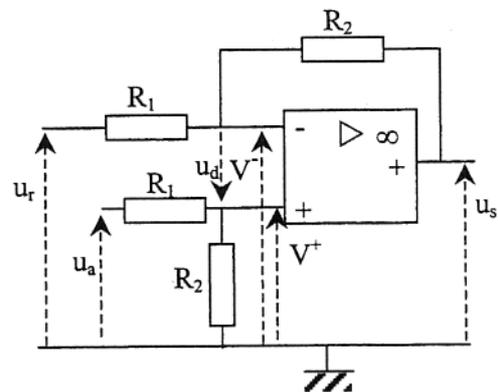
3.2. Quelle est la valeur de la fréquence  $f$  correspondant à une vitesse du tapis de 12 km/h ?

### Partie D : Régulation de la vitesse du moteur entraînant le tapis

On désire maintenir la vitesse du tapis à 12 km/h quelle que soit la charge. Pour cela on va réguler la vitesse du moteur.

La régulation de vitesse étant complexe, nous admettrons pour simplifier que les valeurs de  $U$  et de  $f$  sont réglées par un système électronique commandé par une tension  $u_s$ , tension de sortie d'un amplificateur de différence (voir schéma ci-contre).

L'entrée non inverseuse de l'amplificateur opérationnel (A.O.) est alimentée par une tension continue  $u_a$  et l'entrée inverseuse par une tension  $u_r$  délivrée par une génératrice tachymétrique. Cette tension  $u_r$  est proportionnelle à la fréquence de rotation du moteur.



On a :  $u_r = 0,01 \cdot n$  ( $n$  en  $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$ ).

1. La tension de consigne  $u_a$  (image de la vitesse souhaitée) est une tension continue comprise entre 0 et 15 V. Elle est obtenue à partir de la tension alternative sinusoïdale du secteur (230 V, 50 Hz).

Nommer les convertisseurs statiques de puissance permettant d'obtenir, à partir d'une tension sinusoïdale :

1.1. une tension sinusoïdale de même fréquence et de valeur efficace différente ;

1.2. une tension unidirectionnelle ; citer un composant associé au convertisseur qui permet d'atténuer les ondulations de tension.

2. La tension  $u_s$  est la tension de sortie de l'amplificateur de différence précédent. L'amplificateur opérationnel est considéré comme parfait.

Les valeurs des tensions de saturation sont 0 V et 15 V.

2.1. L'amplificateur opérationnel fonctionne en régime linéaire : justifier.

2.2. Exprimer  $V^+$  (tension entre l'entrée non inverseuse et la masse du montage) en fonction de  $R_1$ ,  $R_2$  et  $u_a$ .

2.3. Montrer que  $V^-$  (tension entre l'entrée inverseuse et la masse du montage) est égale à

$$\frac{(R_2 u_r + R_1 u_s)}{(R_1 + R_2)}$$

2.4. Donner l'expression de  $u_d$  (tension différentielle d'entrée) en fonction de  $V^+$  et  $V^-$ . Quelle est sa valeur, l'amplificateur opérationnel fonctionnant en régime linéaire ?

2.5. En déduire l'expression de  $u_s$  en fonction de  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $u_a$  et  $u_r$ . Justifier le nom d'amplificateur de différence donné au montage.

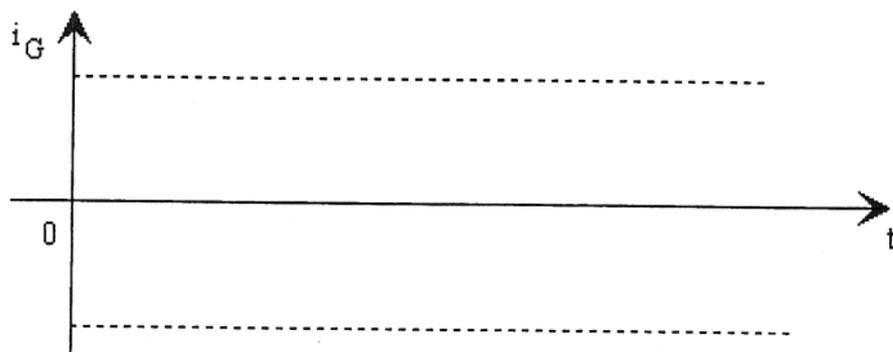
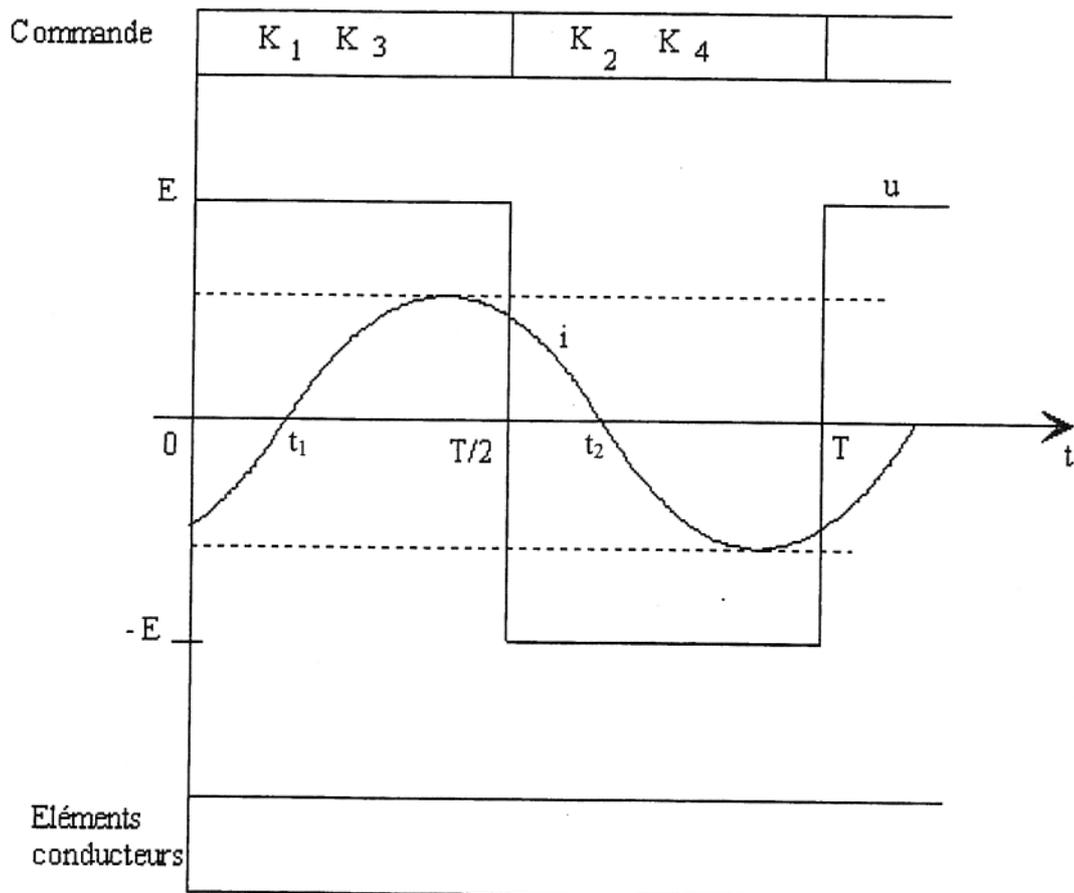
2.6.  $R_2 = 10 R_1$ . Quelle est la valeur du coefficient d'amplification  $A$  du montage ?

3. La fréquence  $f$  de la tension délivrée par l'onduleur est proportionnelle à  $u_s$  :  $f = 3 u_s$ . Pour  $n = 580 \text{ tr.min}^{-1}$ , calculer  $u_r$  et  $f$  sachant que  $u_a = 6,83 \text{ V}$  et  $R_2 = 10 R_1$ .

4. La tension de consigne  $u_a$  reste constante. A une légère variation de la fréquence  $n$  de rotation du moteur, le système réagit. En se plaçant dans le cas où cette variation est une augmentation, dans quels sens évoluent respectivement  $u_r$ ,  $u_s$ ,  $f$ ,  $n_s$ , puis finalement  $n$  ? A-t-on obtenu le résultat escompté ?

# DOCUMENT RÉPONSE 1 : onduleur (A.3)

À RENDRE AVEC LA COPIE



## DOCUMENT RÉPONSE 2 : moteur asynchrone (C.2)

À RENDRE AVEC LA COPIE

